مجله
بلورشناسی و کانی شناسی ایران

Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy

مقاله پژوهشی

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال سی و دوم، شمارهٔ چهارم، زمستان ۱۴۰۳، از صفحهٔ ۶۵۵ تا ۶۶۸

خاستگاه، سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی سنگ‌های خروجی گستره مس زندی (راین)، جنوب شرق استان کرمان

حبیب بیابانگرد*، ندا مسلمی مهنی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۲۶، نسخه نهایی: ۱۴۰۳/۲/۲۲)

چکیده: گستره مس زندی (استان کرمان) در منطقه‌ای کنار روستای گور در ۷۰ کیلومتری جنوب شرق شهرستان راین واقع است. این گستره از نظر تقسیمات زمین‌شناسی ایران، در پهنه ایران مرکزی (کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر) و نوار ماگمایی دهج-ساردوئیه قرار دارد. در این گستره روانه‌هایی وجود دارند که بر اساس بررسی‌های صحرایی و سنگ‌نگاری، ترکیب سنگ‌شناسی آنها اغلب حدواسط تا اسیدی شامل آندزیت، تراکی آندزیت، داسیت، ریولیت و سنگ‌های آذرآواری وابسته به آن‌ها و به مقدار کم بازالت و آندزیت بازالت است. آنها اغلب دارای بافت پورفیری با خمیره ریزسنگی هستند. سنگ‌های حدواسط تا اسیدی از کانی‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند، بیوتیت و کوارتز تشکیل شده‌اند و سنگ‌های بازالتی دارای کانی‌های پیروکسن و پلاژیوکلاز هستند. در نمودارهای عنکبوتی الگوی عناصر فرعی و خاکی نادر بهنجار شده نسبت به مراجع کندریت و گوشته اوّلیه، عناصر خاکی نادر سبک (LREE) غنی‌شدگی ضعیفی نسبت به عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) دارند. اغلب عناصر در نمودارهای مختلف زمین شیمیایی الگوی به نسبت مشابه با سنگ‌های وابسته به مناطق کرانه فعال قاره را نشان می‌دهند. عناصر Rb,Th و Ba ناهنجاری مثبت و عناصر Ti و P ناهنجاری منفی نشان می‌دهند. نمودارهای سنگ‌زایی و زمین‌ساختی ماگمایی به همراه ناهنجاری به نسبت منفی Eu در سنگ‌های مورد بررسی بیانگر وابستگی آنها به ماگماهای مناطق فرورانشی است. از این رو، به نظر می‌رسد که این سنگ‌ها مشابه بسیاری از سنگ‌های پهنه آتشفشانی-نفوذی ارومیه- دختر در نتیجه ماگماهای برآمده از فرورانش صفحه عربی به زیر صفحه ایران، بوجود آمده‌اند.

واژه‌های کلیدی: *سنگ‌های خروجی؛ مس زندی؛ آهکی قلیایی؛ نئوتتیس؛ ارومیه-دختر؛ ایران.*

مقدمه

مجموعه‌ای از سنگ‌های نفوذی و خروجی در منطقه‌ای در کنار روستای گور، شهرستان جیرفت (جنوب شرقی استان کرمان)، در بین طول‌های جغرافیایی ۵۴°۲۰́ تا ۵۹°۳۴́ شرقی و عرض-های ۲۹°۲۶́ تا ۳۱°۵۸́ شمالی قرار دارند. مسیر اصلی دستیابی به این منطقه جاده آسفالته راین-جیرفت به طول ۷۰ کیلومتر است، به طوری که پس از عبور از روستای گور و طی ۵ کیلومتر جاده خاکی می‌توان به منطقه رسید (شکل ۱). بر روی این سنگ‌های منطقه بررسی‌های زمین‌شناسی محدودی انجام شده است که می‌توان به تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ خانه خاتون [۱] و گزارش پایان عملیات پی جویی نهشته مس زندی [۲] در سال ۱۳۹۴ اشاره کرد که در آنها تنوع سنگ-شناسی‌ها و نوع کانه‌زایی نهشته مس زندی مشخص شده است. بر سنگ‌های خروجی و آذرآواری گستره نهشته مس زندی

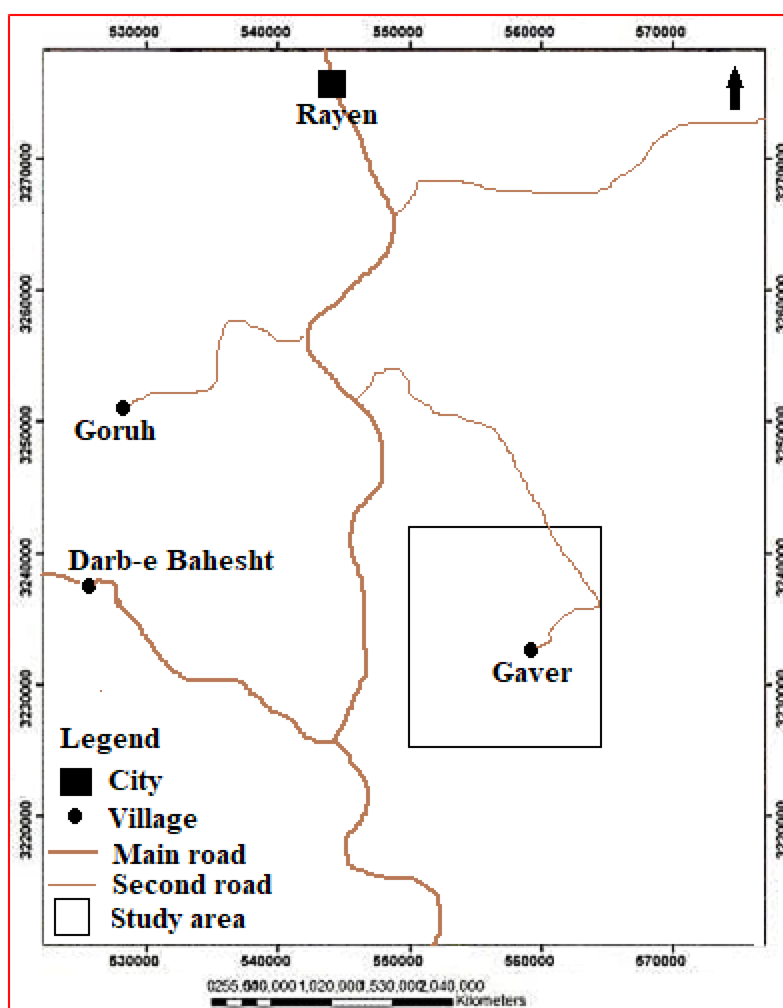
*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۳۴۰۸۵۲۶، پست الکترونیکی: h.biabangard@science.usb.ac.ir

[DOI: 10.61186/ijcm.32.4.655]

تاکنون بررسی زمین‌شناسی انجام نشده است و این پژوهش از نخستین بررسی‌های سنگ‌شناسی بر آنهاست که شناسایی ویژگی‌های سنگ‌شناسی و زمین‌شیمیایی آنها برای تکمیل و بررسی منطقه ضرورت دارد.

روش پژوهش

نخست بررسی‌های عمومی منطقه با استفاده از نقشه، عکس‌های هوایی و کارهای پیشین صورت گرفت. سپس بازدید صحرایی در چند نوبت انجام شد و حدود ۶۰ نمونه سنگی از مناطق مختلف منطقه جمع‌آوری گردید. از بین نمونه‌های جمع‌آوری شده، تعداد ۵۴ نمونه نمایانگر همه انواع نمونه‌های سنگی منطقه انتخاب و از آن‌ها مقاطع نازک تهیه گردید. پس از بررسی دقیق سنگ‌نگاری مقاطع، تعداد ۱۲ نمونه سنگی با کمترین دگرسانی برای طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی X (XRF) و طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) شدند. نمونه‌ها برای تعیین عناصر اصلی با روش XRF برحسب درصد وزنی و عناصر فرعی و کمیاب با روش ICP-MS بر حسب ppm توسط شرکت زمین ریز کاوان به کشور کانادا ارسال شدند. مقدار عناصر اصلی و فرعی ۰/۲ گرم از نمونه، پس از ذوب قلیایی و هضم در اسید نیتریک رقیق، با طیف سنج نشری پلاسمای جفت شده القایی اندازه‌گیری شد. مقدار عناصر خاکی نادر و کمیاب نیز همین مقدار نمونه پس از ذوب و هضم در اسیدنیتریک، توسط طیف‌سنج جرمی پلاسمای جفت شده القایی مشخص گردید. نتایج تجزیه شیمیایی سنگ‌ها با نرم‌افزارهای معمول سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی چون Igpet, GCDkit و Minpet تحلیل شد.



شکل ۱ تصویر ماهواره‌ای منطقه از گوگل ارث، ۲۰۰۸ و راه‌های دستیابی به منطقه (گستره مورد بررسی به صورت مربع مشخص شده است).

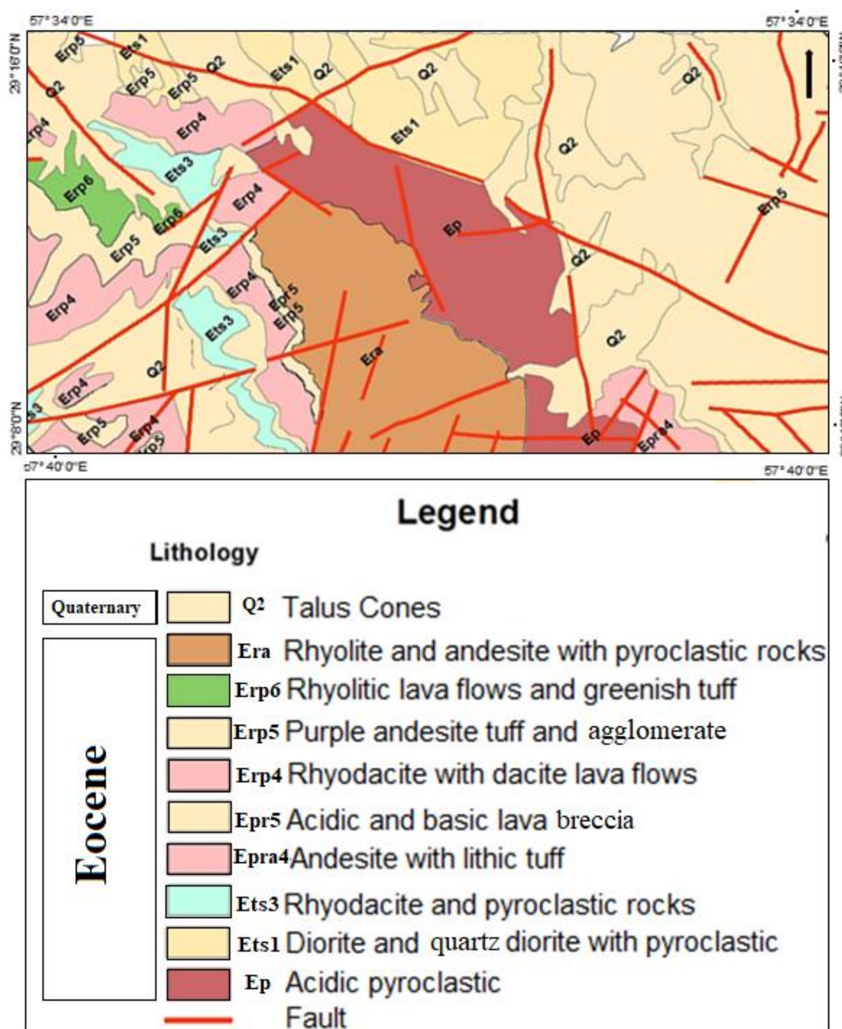
[DOI: 10.61186/ijcm.32.4.655]

زمین‌شناسی

مجموعه سنگی گستره مس زندی از نظر زمین‌شناسی مربوط به پهنه ایران مرکزی، کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر است. بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰خانه‌خاتون [۱]، واحدهای سنگی ائوسن بیشترین گسترش را در کل منطقه دارند (شکل ۲). بر اساس بررسی‌های انجام شده در سال ۱۳۹۴ [۲] نوع کانیزایی در منطقه از نوع پورفیری وابسته به استوک‌های نفوذی و نیمه نفوذی است. بیشترین دگرسانی‌های موجود از نوع آرژیلیک پیشرفته، فیلیک و کلریتی است. مهمترین کانه- های شناسایی شده در منطقه پیریت، کالکوپیریت، گالن، اکسیدهای آهن و کربنات‌های مس هستند. واحدهای ائوسن در منطقه شامل سنگ‌های آذرین نفوذی، خروجی و آذرآواری هستند که به طور متناوب با هم قرار دارند. ترکیب سنگ- شناسی واحدهای خروجی بازالت، آندزیت، آندزیت- بازالت، داسیت، ریولیت، توف‌های آندزیتی- داسیتی و توف سنگی (با ترکیب غالب آندزیتی و داسیتی) است. در منطقه به مقدار کم آگلومرا نیز دیده می‌شود.

واحدهای خروجی دیده شده در منطقه روانه‌های اسیدی تا حدواسط داسیتی، ریولیتی، آندزیتی و به مقدار کمتر بازالتی هستند که در ادامه تشریح می‌شوند.

داسیت: روانه‌های داسیتی و تراکی‌داسیتی پس از گدازه‌های آندزیتی بیشترین گسترش را در منطقه دارند. آنها اغلب دارای بافت پورفیری و درشت بلورهای پلاژیوکلاز هستند. رخنمون- های این گدازه‌ها به صورت تپه‌های کم ارتفاع در منطقه و با رنگ روشن هستند (شکل ۳ الف). گاهی لکه‌های سبز تا قهوه‌ای رنگ، ناشی از دگرسانی کانی‌های مافیک (بیوتیت و هورنبلند)، در آن‌ها دیده می‌شود. از ویژگی بارز این واحد سنگی وجود آثار کانه‌زایی مس در آن است.



شکل۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰خانه‌خاتون [۱] تهیه شده در محیط نرم افزار GIS با تغییرات.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.4.655]



شکل ۳ تصاویری از واحدهای خروجی در منطقه: الف) واحدهای داسیتی، دید عکس به سمت شمال غرب، ب) واحدهای آندزیتی به نسبت سالم و قطعه‌ای شده، پ) واحدهای بازالتی تیره رنگ و بیشتر نهان دانه و بدون کانی ویژه، ت) واحدهای روشن ریولیتی اغلب خردشده، ث) تناوب واحدهای آذرآواری و گدازه در منطقه (دید عکس به سمت شمال غرب)، ج) قطعه های سنگی موجود در واحدهای آذرآواری که اغلب ترکیب آندزیتی دارند.

آندزیت: گدازه‌های آندزیتی دارای بیشترین گسترش هستند و در همه بخش‌های منطقه دیده می‌شوند. آنها در صحرا به رنگ خاکستری و بیشتر دربردارنده قطعه‌های سنگی هستند (شکل ۳ ب). کانی‌های پلاژیوکلاز و هورنبلند موجود در این روانه‌ها تجزیه شده اند.

بازالت: گدازه‌های بازالتی بیشتر تیره رنگ و دارای کمترین گسترش در منطقه هستند. در نمونه‌های صحرایی این گدازه‌ها کانی مشخصی به چشم نمی‌خورد و کاملاً نهان دانه و متراکم هستند (شکل ۳ پ).

ریولیت: این گدازه‌ها روشن رنگ (شکل ۳ ت)، نهان‌دانه و متراکم هستند و کانی‌ویژه‌ای در آن‌ها قابل تشخیص نیست و گاه به ندرت می‌توان کانی کوارتز را با چشم مسلح در آن‌ها دید. کانی‌های فلدسپات موجود در آن‌ها نیز سریسیتی شده‌اند.

واحدهای آذرآواری: سنگ‌های آذرآواری‌های به طور متناوب با جریان‌های گدازه‌ای قرار دارند (شکل ۳ ث). آنها دارای قطعه-های درشت و کوچک سنگی بوده که از نظر ترکیب اغلب آندزیتی هستند (شکل ۳ ج). قطعه‌های آذرآواری به صورت ریز و درشت و منقطع و قطعه‌های کشیده و به صف شده در یک زمینه‌ی خاکستر جوش‌خورده‌اند این سنگ‌های به‌نسبت ریزدانه

با قطعه‌های مختلف با ترکیب توفی، می‌توانند فراورده یک فوران انفجاری باشند.

سنگ‌نگاری

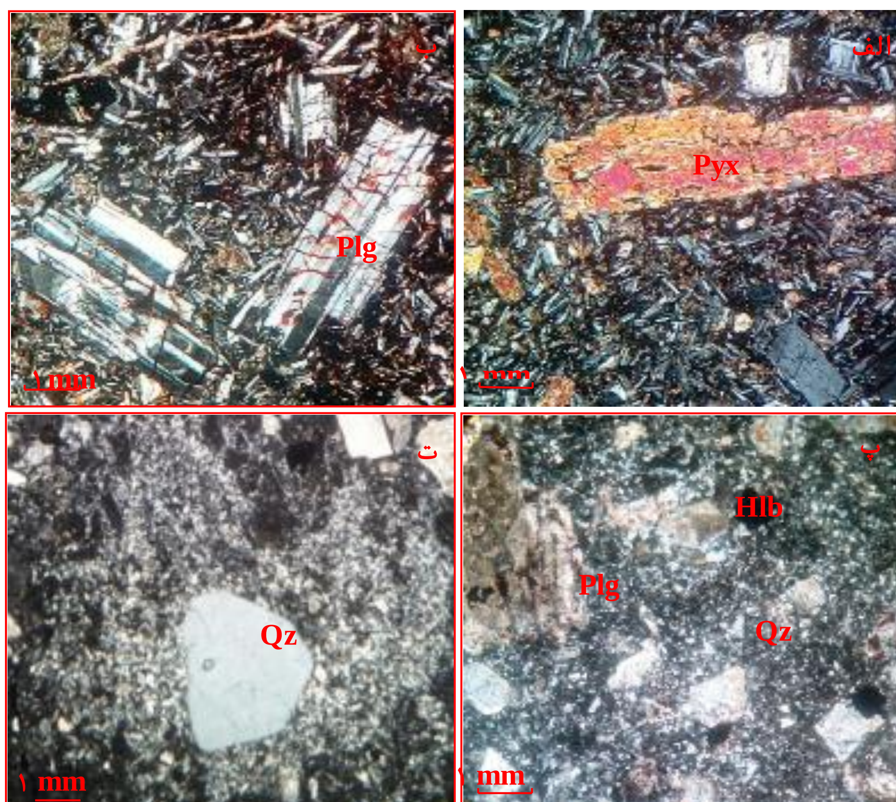
واحدهای خروجی منطقه در مقاطع میکروسکوپی دارای ویژگی‌هایی هستند که در ادامه توضیح داده می‌شود.

بازالت‌ها: پلاژیوکلاز و پیروکسن کانی‌های اصلی سازنده این سنگ‌ها هستند. پلاژیوکلازها حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد حجمی از کانی‌های سازنده سنگ را تشکیل می‌دهند و اغلب به صورت درشت بلور شکل‌دار و دوقلو و به صورت ریزسنگ در خمیره دیده می‌شوند (شکل ۴ الف). پیروکسن بین ۳۰ تا ۳۵ درصد حجمی را شامل می‌شود و به صورت شکلدار تا نیمه شکلدار (شکل ۴ الف) و بیشتر از نوع اوژیت است. ترکیب این سنگ‌ها در منطقه از بازالت، تراکی بازالت و آندزیت بازالت متغیر است.

آندزیت‌ها: این سنگ‌ها بیشتر از کانی‌های پلاژیوکلاز (۸۰-۷۰ درصد حجمی) ساخته شده‌اند. این کانی‌ها اغلب شکل‌دار و دارای ماکل چندریختی هستند (شکل ۴ب). بسیاری از این کانی‌ها به صورت ریزسنگ، در خمیره و بدون جهت یافتگی دیده می‌شوند (شکل ۴ب). توف‌های موجود در منطقه اغلب ترکیب آندزیتی دارند.

داسیت‌ها: پلاژیوکلازها حدود ۵۰ درصد حجمی کانی‌های سازنده سنگ را تشکیل داده و به صورت نیمه شکل‌دار و بیشتر سریسیتی و کربناتی شده‌اند (شکل ۴ پ). کانی کوارتز حدود ۳۰ درصد حجمی کانی‌های سنگ را تشکیل می‌دهد و بیشکل و ریزبلور و بیشتر در خمیره است. آثار و قالبی از کانی‌های هورنبلند که سوخته شده‌اند نیز در مقاطع این سنگ‌ها دیده می‌شود (شکل ۴پ).

ریولیت‌ها: کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز و ساندین در این سنگ‌ها دیده می‌شود. درشت بلورهای کوارتز بیشتر بی‌شکل و اغلب دارای لبه‌های انحلالی تا گرد شده هستند (شکل ۴ت). ریزبلورهای کوارتز در خمیره نیز دیده می‌شوند. پلاژیوکلازهای موجود در این سنگ‌ها بیشتر تجزیه شده‌اند، ساندین بیشتر به صورت ریزسنگی و در خمیره با ماکل دوتایی دیده می‌شود.



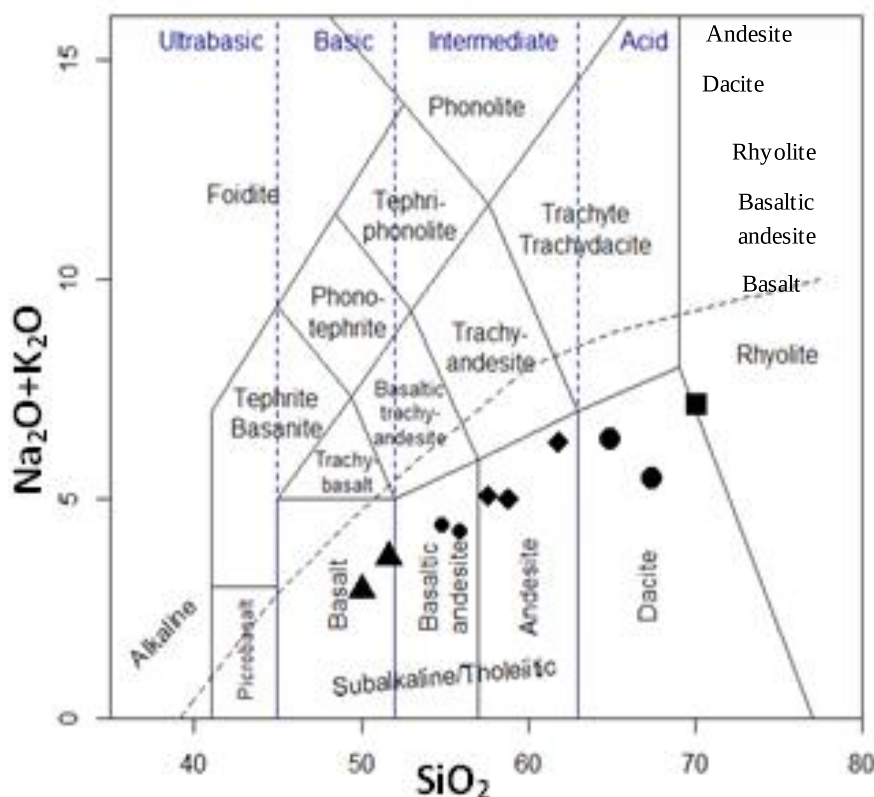
شکل ۴ برخی از تصاویر میکروسکوپی سنگ‌های خروجی منطقه: الف) بلورهای شکل‌دار کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز در بازالت‌ها، ب) درشت بلورهای دوقلو پلاژیوکلاز در آندزیت‌ها، پ) بلورهای کوارتز و پلاژیوکلاز در داسیت‌ها و ت) بلورهای بی شکل کوارتز در خمیره بسیار دانه‌ریز از سنگ‌های ریولیتی (Cpx: کلینوپیروکسن، Plg: پلاژیوکلاز، Hlb: هورنبلند و Qz: کوارتز [۳].

[DOI: 10.61186/ijcm.32.4.655]

زمین شیمی

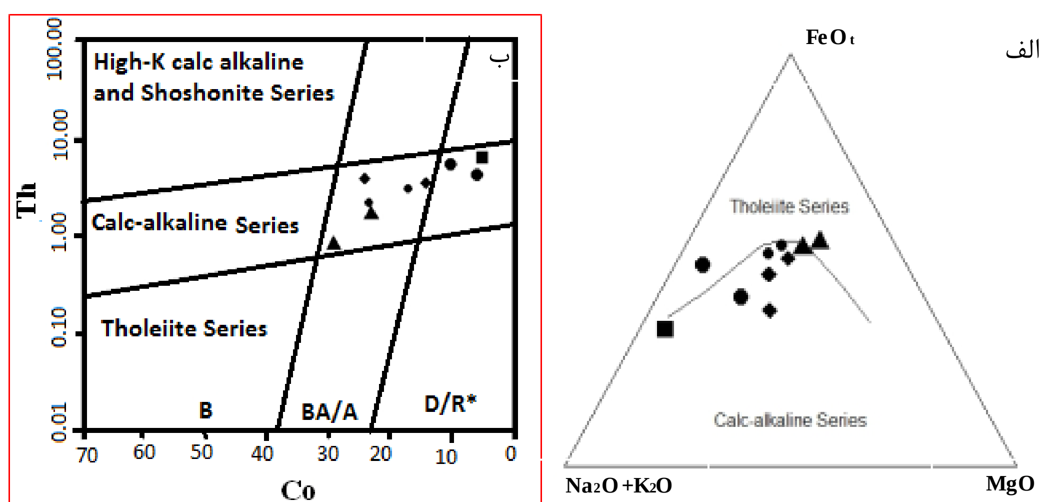
در نمودار رده‌بندی زمین شیمیایی سنگ‌های آذرین خروجی [۴]، سنگ‌های منطقه در گستره‌ی بازالت تا ریولیت و گستره‌ی نیمه قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۵). به منظور تعیین سری ماگمایی از نمودارهای AFM (شکل ۶ الف) [۵] و CO نسبت به Th [۶] که سری قلیایی را از تولئیتی جدا می‌کند، استفاده شد. در این نمودارها، همه نمونه‌ها در گستره‌ی سری ماگمایی آهکی قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۶ ب). قرارگیری ۲ نمونه در محیط تولئیتی به دلیل دگرسانی بیشتر این نمونه‌هاست. در نمودارهای هارکر اکسیدهای عناصر اصلی (شکل ۷)، اکسیدهای Al_2O_3 , CaO , FeO و MgO از سمت سنگ‌های بازیک (بازالت‌ها) به سمت سنگ‌های حدواسط (آندزیت‌ها) و سرانجام سنگ‌های اسیدی (ریولیت‌ها) روندی کاهشی دارند.

این تغییرات بیشتر ناشی از حضور کانی‌های موجود در این سنگ‌هاست، به طوری که در سنگ‌های بازیک بیشتر پیروکسن و پلاژیوکلاز بازیک و در سنگ‌های اسیدی منطقه پلاژیوکلاز اسیدی وجود دارد. اکسیدهای عناصر قلیایی روند افزایشی دارند (شکل ۷). این امر نیز به دلیل فراوانی بیشتر کانی‌های پلاژیوکلاز اسیدی در سنگ‌های حدواسط تا اسیدی است. همه تغییرات بیان شده‌ی با روند عمومی جدایش و تبلور ماگما همخوانی دارد. اکسید تیتانیوم الگوی مشابه با اکسید آهن نشان می‌دهد که به نظر می‌رسد که تغییرات آن ناشی از تبلور تیتانومگنتیت در فازهای مافیک نسبت به اسیدی باشد. تغییرات P_2O_5 بسیار کم و تا حدی پراکنده است و الگوی مشخصی ندارد که به نظر می‌رسد که مقدار این اکسید در ماگمای اولیه کم بوده است.

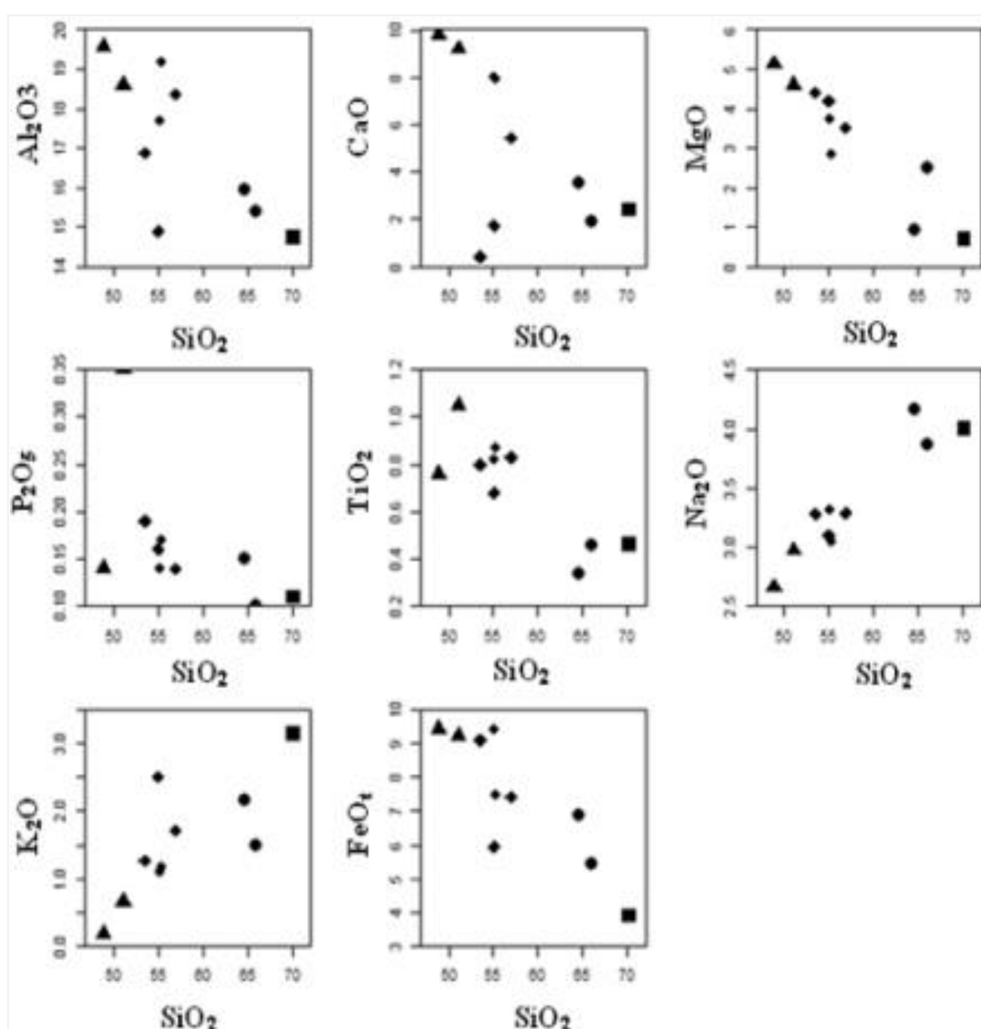


شکل ۵ موقعیت نمونه‌های سنگی گستره مس زندی در نمودار رده‌بندی شیمیایی [۴] در گستره نیمه قلیایی و گستره بازالت تا ریولیت قرار دارد. نشانه های استفاده شده در این نمودار با همه نمودارهای زمین شیمیایی استفاده شده در این نوشتار یکسان است.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.4.655]



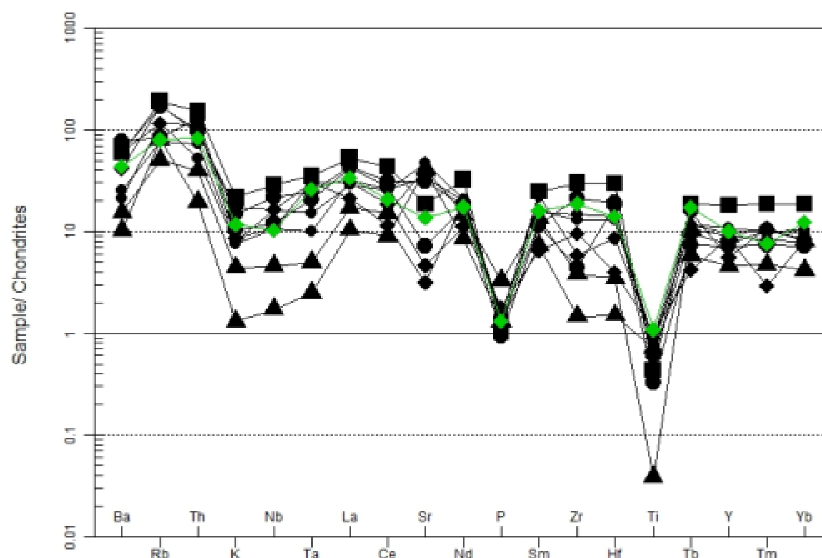
شکل ۶ الف) موقعیت نمونه‌های مورد بررسی بر الف) نمودار AFM [۵] و ب) نمودار Co نسبت به Th [۶] که همه نمونه ها به جز دو نمونه که به احتمال بسیار دگرسان شده‌اند در گستره سری آهکی قلیایی قرار دارند.



شکل ۷ نمودارهای هارکر [۷] عناصر اصلی، رسم شده برای نمونه‌های خروجی منطقه مس زندی.

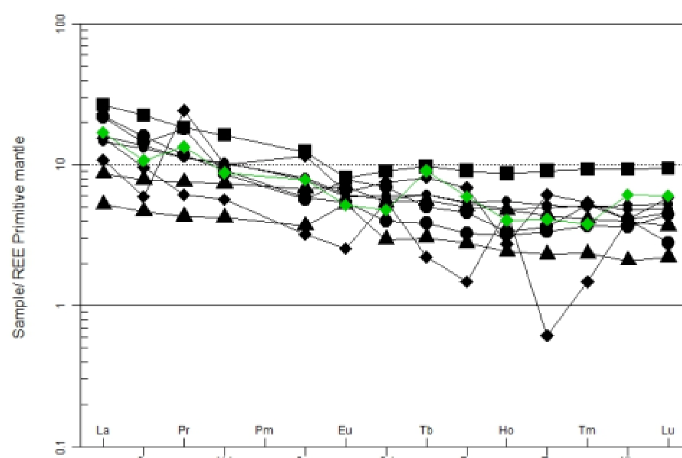
[DOI: 10.61186/ijcm.32.4.655]

عناصر فرعی و کمیاب نمونه‌های مورد بررسی نسبت به مرجع کندریت [۸، ۹] بهنجار شدند (شکل‌های ۸ و ۹). الگوی عناصر نمونه‌های مختلف منطقه با هم و نیز با نمونه شاهد تا حدی متفاوت هستند، از جمله عناصر Sr, Zr, Hf, Y, Tm (شکل ۷) و عناصر Pr, Yb, Eu, Tb (شکل ۸) این تفاوت را بهتر نشان می‌دهند. در شکل ۸ این تفاوت‌ها محسوس‌تر است. الگوهای کاهشی و افزایشی در عناصر فرعی از ویژگی‌های بارز ماگماهای در ارتباط با مناطق فرورانش است [۱۰]. عناصر P, Ti و تا حدی K ناهنجاری منفی (شکل ۸) نشان می‌دهند. چنین تغییراتی در مذاب‌های مناطق فرورانشی دیده می‌شود [۱۰]. ناهنجاری ضعیف منفی عنصر استرانسیم در برخی از نمونه‌ها دیده می‌شود. غنی‌شدگی عناصر با شدت میدان الکتریکی پایین چون La, Rb, Th, Ce و تهی‌شدگی عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) از جمله P, Ti از ویژگی‌های بارز قوس‌های در ارتباط با فرورانش کرانه قاره‌ای است [۱۱، ۱۲]. از دیگر ویژگی‌های شاخص کمان‌های ماگمایی کرانه فعال قاره‌ها تهی شدگی فسفر است [۱۳، ۱۴]. در سنگ‌های خروجی منطقه برخی عناصر این مشخصه‌ها را نشان می‌دهند (شکل ۸). غنی‌شدگی عناصری چون روبیدیم، توریم و پتاسیم می‌تواند به دلیل اثر پوسته‌ی قاره‌ای در ماگمای سازنده‌ی آنها باشد [۱۵]. همچنین این عناصر با شعاع اتمی بزرگ، طی فرایندهای آبزدایی به آسانی وارد فاز مایع می‌شوند. از سویی، غنی‌شدگی عناصر روبیدیم و توریم می‌تواند به دلیل اضافه‌شدن مذاب برآمده از رسوب‌های گودابه‌ای و یا سیال‌های ناشی از پوسته‌های اقیانوسی دگرسان شده به گوه‌ی گوشته‌ای باشد [۱۶]. علت تهی‌شدگی عنصر تیتانیم بار الکتریکی بالا و شعاع اتمی پایین آن است که در نتیجه تمایل برای ورود به فاز مایع ندارد و میزان انحلال‌پذیری آن در سیال‌های آبدار پایین است [۱۷]. تهی‌شدگی نیوبیم دلیلی بر ارتباط آن با فرآیند فرورانش است [۱۰]؛ هرچند ممکن است نشان دهنده‌ی شرکت پوسته در فرآیندهای ماگمایی نیز باشد [۱۸]. البته، فقیرشدگی آن به سبب آلودگی توسط پوسته در محیط‌های فرورانشی نیز ایجاد می‌شود [۱۹]. به باور برخی از پژوهشگران، این تغییرات در عناصر تیتانیوم و نیوبیم ناشی از آلایش پوسته‌ای و جدایش ماگمایی است [۲۰، ۲۱]. الگوی عناصر خاکی نادر شیب بسیار ناچیزی دارند (شکل ۹). ناهنجاری منفی و مثبت ضعیفی برای عنصر Eu دیده می‌شود که حضور کانی‌های آمفیبول و بیوتیت در سنگ‌ها و شرایط اکسایشی، علت آن است [۲۲]. برای تشخیص خاستگاه سنگ‌های آذرین منطقه از نمودارهای مختلف استفاده شد. نمودار تغییرات Rb نسبت به Rb/Th [۲۳] برای تشخیص فرآیند تبلور جدایشی در سنگ‌های آذرین ارائه شده است. در این نمودار، نمونه‌های مورد بررسی بیشتر از روند هضم، جدایش و تبلور جدایشی پیروی می‌کنند (شکل ۱۰ الف). نمودار Ta/Yb نسبت به Th/Yb [۲۴] (شکل ۱۰ ب) مدلی برای تعیین غنی‌شدگی خاستگاه، آلایش با مواد پوسته‌ای یا گوشته‌ای است. نسبت‌های Ta/Yb و Th/Yb اغلب مستقل از تبلور بخشی و یا ذوب‌بخشی عمل کرده و از این رو تغییرات خاستگاه و آلودگی آن را به خوبی نشان می‌دهند [۲۵].

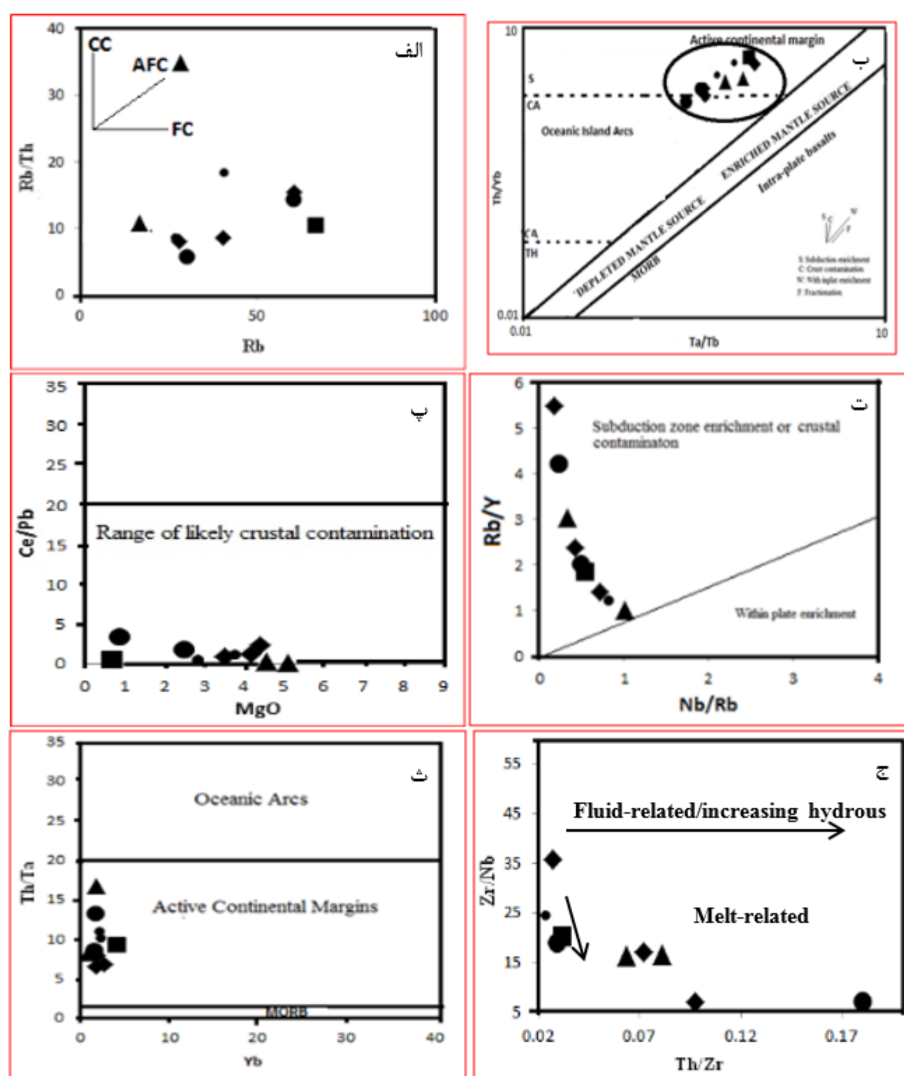


شکل ۸ نمودار عنکبوتی سنگ‌های منطقه، بهنجار شده به کندریت [۸].

[DOI: 10.61186/ijcm.32.4.655]



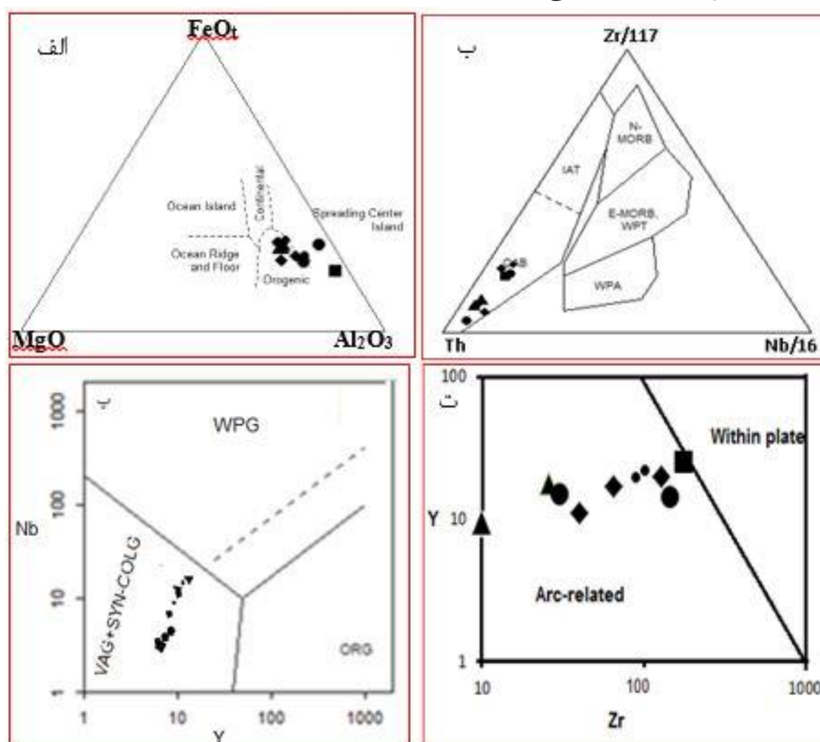
شکل ۹ نمودار عنکبوتی عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به کندریت [۹].



شکل ۱۰ نمودارهای تغییرات نسبت‌های عناصر برای تشخیص خاستگاه: الف) نمودار Rb نسبت به Rb/Th، ب) نمودار Ta/Yb نسبت به Th/Yb، پ) نمودارMgO نسبت به Ce/Pb [۲۶]، ت) نمودار Nb/Rb نسبت به Rb/Y، ث) نمودار Yb نسبت به Th/Ta، ج) نمودار Th/Zr نسبت به Zr/Nb [۲۷]. (S: فرورانش، CA: آهکی قلیایی، TH: تولئیتی، CC : آلودگی پوسته‌ای، AFC: هضم، جدایش و تبلور، FC : جدایش بلورین).

[DOI: 10.61186/ijcm.32.4.655]

فرآیندهای مربوط به غنی‌شدگی درون صفحه‌ای با غنی‌شدگی قابل ملاحظه‌ای از هر دو عنصر Th و Ta همراه هستند، در حالیکه در مناطق فرورانشی، عنصر Th نسبت به Ta غنی‌شدگی بیشتری دارد [۲۸]. بر پایه نمودار MgO نسبت به Ce/Pb [۲۶] برای تعیین اثر داشتن یا نداشتن آلایش پوسته‌ای در دگرگونی‌های ماگمایی. سنگ‌های منطقه مورد بررسی آلایش کمی با پوسته قاره‌ای داشته‌اند (شکل ۱۰ پ). براساس نمودار تغییرات Nb/Rb نسبت به Rb/Y [۲۹]، اغلب آلایش پوسته سبب افزایش مقدار Rb و کاهش Nb می‌شود [۱۱]. با استفاده از نمودار Nb/Rb نسبت به Rb/Y می‌توان غنی‌شدگی با سیال‌ها در پهنه فرورانش و آلودگی پوسته‌ای و همچنین غنی‌شدگی درون صفحه‌ای را تعیین کرد (شکل ۱۰ ت). در این نمودار نمونه‌ها در منطقه آلایش پوسته‌ای و پهنه‌های فرورانشی قرار دارند. در نمودار Yb نسبت به Th/Ta [۳۰] نمونه‌های مورد بررسی در گستره کرانه فعال قاره قرار می‌گیرند (شکل ۱۰ ث). چنان که در نمودار Th/Zr نسبت به Zr/Nb، (شکل ۱۰ ج) دیده می‌شود، این سنگ‌ها روندی تقریباً شبیه مذاب‌های مناطق فرورانشی دارند. در پهنه‌های فرورانش، صفحه فرورونده آبگیری شده و سیال‌های غنی از عناصر سنگ دوست بزرگ یون (LILE) را درون گوشته رها می‌سازد که باعث دگرنهادی و ذوب‌بخشی آن می‌شود. افزون بر این سیال‌ها، مذاب‌ها نیز می‌توانند در دگرنهادی گوشته نقش داشته باشند. از نمودارهای نام برده برای تعیین عاملی که باعث دگرنهادی گوه گوشته‌ای شده است (سیال‌های خارج شده از پهنه فرورونده)، استفاده می‌شود [۲۷]. به نظر می‌رسد که در خاستگاه نمونه‌های سنگی مورد بررسی سیال‌های دگرنهاد کننده نقش داشته‌اند. بین محیط‌های زمین‌ساختی و پیدایش سنگ‌های آذرین ارتباط نزدیکی وجود دارد. از این رو، نمودارهای زمین‌ساختی ماگمایی مختلفی توسط پژوهشگران استفاده شده‌اند که در بیشتر آنها عناصر فرعی و اصلی به کار گرفته شده‌اند. به این منظور از نمودارهای FeOt-MgO-Al_2O_3 [۳۱]، Th-Zr-Nb [۱۳]، Nb- Y [۳۲] و Y- Zr [۳۳] (شکل ۱۱) استفاده شد. چنان که دیده می‌شود، نمونه‌های سنگ‌های خروجی منطقه در محیط‌های کوهزایی وابسته به مناطق فرورانشی قرار دارند. بیشتر سنگ‌های نوع I آهکی قلیایی به جایگاه‌های در ارتباط با پوسته قاره‌ای وابسته هستند [۳۳] از این رو، همه سنگ‌های مورد بررسی در جایگاه زمین‌ساختی کمان‌های آتشفشانی (VAG) و همزمان با برخورد (SYN-COLG) جای می‌گیرند (شکل ۱۱پ).



شکل۱۱ نمودارهای تفکیک محیط زمین‌ساختی ماگمایی و موقعیت نمونه‌های مورد بررسی بر الف) نمودار مرجع [۳۱]، ب) نمودار Th-Zr-Nb [۱۳]، پ)نمودار Nb نسبت به Y [۳۲]، ت) نمودار Zr نسبت به Y [۳۳].

[DOI: 10.61186/ijcm.32.4.655]

بحث

بیشتر سنگ‌های مناطق برخورد قاره‌ای، ناهنجاری منفی و ضعیف از Eu نشان می‌دهند [۳۴] که نمونه‌های مورد بررسی چنین هستند. عوامل بسیاری از جمله انباشت بلورها، اثر پوسته قاره‌ای، تبلور فاز فرعی سرشار از عناصر کمیاب در ترکیب سنگ‌های آذرین نقش دارند [۲۰، ۲۱]. تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی در نمودارهای هارکر (شکل ۷) نتیجه نوع و فراوانی فازهای کانیایی سازنده (به ویژه فلدسپات‌ها) آنها بوده و تغییرات این اکسیدها منطبق بر فرآیند جدایش عمومی ماگماست. به نظر می‌رسد که تغییرات و تفاوت در عناصر فرعی و کمیاب نمونه‌های مورد بررسی (شکل‌های ۸ و ۹) ناشی از فرآیندهایی چون دگرسانی، آلایش و یا هضم پوسته‌ای باشد. از سویی، تا حدی الگوهای کاهشی و افزایشی در عناصر فرعی سنگ‌های مورد بررسی شباهت با ماگماهای در ارتباط با مناطق فرورانش را نشان می‌دهند. در سنگ‌های منطقه، روبیدیم و توریم تا حدی غنی شده‌اند، امّا پتاسیم کاهش نشان می‌دهد که به نظر می‌رسد که نمی‌توان نقش اثر پوسته قاره‌ای و یا اضافه شدن مذاب‌های برآمده از رسوب‌ها را در شکل‌گیری این سنگ‌ها نادیده گرفت. غنی‌شدگی عناصری چون روبیدیم، توریم و پتاسیم در سنگ‌ها می‌تواند به دلیل اثر پوسته‌ی قاره-ای در ماگمای سازنده‌ی آنها باشد. همچنین تغییرات عناصر تیتانیوم و نیوبیم در سنگ‌های مورد بررسی به نظر می‌رسد که نتیجه آلایش پوسته‌ای و جدایش ماگمایی باشد. الگوی عناصر خاکی نادر شیب بسیار ناچیز دارند (شکل ۹). غلظت عناصر خاکی نادر سبک طی تبلور جدایشی و عناصر خاکی نادر سنگین با ذوب بخشی کنترل می شوند. بالا بودن درجه ذوب بخشی امکان ذوب کانی گارنت که دارای ضریب جدایش بالایی از عناصر خاکی نادر سنگین است، را فراهم و در نتیجه موجب فراوانی این عناصر در ماگما می‌شود. این امر باعث کاهش اختلاف بین مقادیر عناصر خاکی نادر سبک و سنگین کمتر می‌شود. چنین وضعیتی در الگوی این عناصر (شکل ۹) نشانگر پایین بودن درجه ذوب‌بخشی در خاستگاه این سنگ‌هاست. در نمودارهای خاستگاه (شکل ۱۰) نیز، سنگ‌های مورد بررسی در مسیر تقریباً موازی با روند گوشته و اثر عوامل فرورانش قرار گرفته‌اند. از سویی در این نمودار، نقش سیال‌های دگرنهاد کننده در ماگمای سازنده این سنگ‌ها روشن است. نمودارهای تفکیک محیط‌های زمین‌ساختی ماگمایی نمونه‌ها نشان دهنده وابستگی آنها به محیط‌های فرورانشی هستند (شکل ۱۱). از این رو با توجه به موارد بیان شده به نظر می‌رسد که این سنگ‌ها شبیه بسیاری از سنگ‌های پهنه آتشفشانی-نفوذی ارومیه-دختر در نتیجه ماگماهای برآمده از فرورانش صفحه عربی به زیر صفحه ایران بوجود آمده‌اند.

برداشت

در گستره مس زندی، سنگ‌های خروجی به صورت واحدهای متناوب آذرآواری و جریان‌های گدازه‌ای دیده می‌شوند. این سنگ‌ها طیفی از انواع سنگ‌های آذرین بازی (بازالت)، حدواسط (آندزیت) و اسیدی (ریولیت) را شامل می‌شوند. از نظر کانی‌شناسی، بازالت‌ها دارای کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز و پیروکسن و سنگ‌های آندزیتی، داسیتی و ریولیتی دارای پلاژیوکلاز، هورنبلند، بیوتیت و کوارتز هستند. نمودارهای زمین‌شیمیایی رده‌بندی سنگ‌های آذرین خروجی TAS مشخص نمودند که سنگ‌های مورد بررسی طیف ترکیبی از بازالت، آندزیت بازالت، آندزیت، داسیت و ریولیت دارند. نمودارهای زمین‌شیمیایی عناصر اصلی نشان می‌دهند که تغییرات اکسیدهای این عناصر بیشتر وابسته به نوع کانیایی موجود در این سنگ‌هاست. تغییرات عناصر فرعی نمونه‌های مختلف منطقه با هم و نیز با نمونه شاهد تا حدی متفاوت هستند که به نظر می‌رسد که ناشی از فرآیندهایی چون دگرسانی، آلایش و یا هضم پوسته‌ای است. الگوهای کاهشی و افزایشی در عناصر فرعی، ناهنجاری ضعیف منفی عنصر یوروپیوم، غنی‌شدگی نسبی عناصر روبیدیوم و توریم و تا حدی پتاسیم سنگ‌ها می‌تواند به دلیل اثر پوسته‌ی قاره‌ای در ماگمای سازنده‌ی آنها باشد. بر پایه نمودارهای تعیین سری

ماگمایی، نمونه‌های مورد بررسی در گستره سری ماگمایی آهکی قلیایی قرار دارند. نمودارهای سنگزایی نشان می‌دهند که فرآیند آلایش در ماگمای سازنده این سنگ‌ها بی اثر نبوده است. نمودارهای تفکیک محیط‌های زمین‌ساختی ماگمایی و نمودارهای سنگزایی نمونه‌ها نشان می‌دهند که سنگ‌های خروجی منطقه وابسته به محیط‌های فرورانشی هستند. از این رو به نظر می‌رسد که این سنگ‌ها مشابه بسیاری از سنگ‌های پهنه آتشفشانی-نفوذی ارومیه-دختر در نتیجه ماگماهای برآمده از فرورانش صفحه عربی به زیر صفحه ایران بوجود آمده‌اند.

قدردانی

نویسندگان از سردبیر محترم مجله، هیات تحریریه و داوران محترم که نظرها و پیشنهادهای بسیار سازنده‌ای داده‌اند کمال قدردانی و تشکر را دارند.

مراجع

[1] Dimitrijevic M. D., *"Geology of Kerman region"*, Geological Survey of Iran, Report 52 (1973) 334.

[2] Amozegar, R., *"Report of Zandi Copper Mine Exploration "*, Geological Organization of Kerman Province, (2015), 54pp (in persian).

[3] Whitney D. L., Evans B. W., *"Abbreviations for names of rock-forming minerals"*, American Mineralogist, 95(2010)185–187.

[4] Le Bas M.J., *The role of aluminum in igneous Clinopyroxenes with relation to their parentage"*, American Journal of Science, 260(1962)267-288, [DOI: 10.2475/ajs.260.4.267]

[5] Irvine T.N., Baragar W.R.A.,"*A guide to the classification of the common volcanic rocks"*, Canadian Journal of Earth Sciences 8, (1971)235-458, [DOI: 10.1139/e71-055]

[6] Hasite A.R., Kerr A. C., Pearce J.A., Mitchell S.F., *"Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th-Co discrimination diagram"*, Journal of Petrology, 48(2007)2341-2357, [DOI:10.1093/petrology/egm062]

[7] Harker A., *"The natural history of igneous rocks"*, McMillan, New York (1909)845.

[8] Thompson R.N., "*Primary magmas and magma genesis. I, Skye. Northwest Scotland"*, Contribution Mineralogy and Petrology, 45(1987)317-341,[DOI: 10.1144/sjg18010049]

[9] Boynton W.V., "*Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies"*, In Henderson, Rare Earth Element Geochemistry, Elsevier, (1984)63-114,[DOI:10.1016/B978-0-444-42148-7.50008-3]

[10] Wilson M., *"Igneous petrogenesis"*, Academic Division of Unwin Hyman Pub., London, (1989) 466 p.

[11] Hawkesworth C. J., Hergt J. M, Ellam R. M., Mc Dermott F., *"Element fluxes associated with subduction related magmatism"*, Philosophical Transactions of the Royal Society of London. (1991) 335:393-405,[DOI:10.1098/rsta.1991.0054]

[12] Khan M.A., Jan Q.M., Weaver B.L., *"Evolution of the lower arc crust in Kohistan, N. Pakistan: temporal arc magmatism through early, mature and intra arc rift stages"*, In: Treloar, P.J., Searle, M.P. (Eds.), Himalayan Tectonics. Geology Society of London, Special Publication, [DOI: 10.1144/GSL. SP.1993.074.01. 10]

[13] Abdollah. J.A., Said A., VIsona D., *"New geochemical and petrographic data on the gabbro syenite suite between Hargeysa and Berbera Shiikh ,Northern Somalia"*, Journal of African earth sciences, 23(1997)363-373.

[14] Nagudi N.O., Koberl C.H., Kurat G., "*Petrography and geochemistry of the Singo granite1Uganda and implications for its origin"*, Journal of African earth sciences, 35(2003)51-59. [DOI: 10.1016/S0899-5362(03)00014-9]

[15] Green T.H., Pearson N.J., *"Ti- rich Accessory Phase Saturation in Hydrous Mafic- Felsic Compositions at High P.T"*, Journal of Chemical Geology, 54(1986)185- 201.[DOI:10.1016/0012-821X(93)90234-Z].

[DOI: 10.61186/ijcm.32.4.655]

[16] Fan W.M., Gue F., Wong Y.J., Lin G., *"Late Mesozoic Calc- alkaline Volcanism of Postorogenic Extention in the Northern Da Hinggan Mountains, Nourtheastern China"*, Journal of Volcanology and Geothermal Research,121(2003)115- 135. [DOI:/10.1016/S0377-0273(02)00415-8]

[17] Tatsumi Y., Hamilton D.L., Nesbitt R.W., "*Chemical characteristics of fluid plase released from a subducted lithosphere and origin of arc magmas: evidence from high pressure experiments and natural rocks"*, Journal of Volcanology 29(1986)293-310.

[18] Rollinson H., *"Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, and Interpretation"*, Singapore, Longman (1993), 245.

[19] Wood D. A., *"The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province"*, Earth and Planetary Sciences Letters 50(1980)11-30, [DOI: 10.1016/0012-821X (80)90116-8].

[20] Kürkcüoğlu K., Furman T., Hanan B., *"Geochemistry of post-collisional mafic lavas from the North Anatolian fault zone, Northwestern Turkey"*, Lithos 101(2008)416-434.

[21] Reichow M.K., Saunders A.D., White R.V., *"Al Mokhamedov Al and Medvadev AYa, Geochemistry and petrogenesis of basalts from the West Siberian Basin, an extension of the Permo-Triassic Siberian Traps Russia"*, Lithos 28(2004)412. 486,[DOI:10.1016/j.lithos.2004.09.011].

[22] Henderson P., Pankhurst R. J., "*Analytical chemistry"*, In: rare earth elements geochemistry (Ed. Henderson, P.) 467- 479, Elsevier, Amsterdam, Netherlands, (1984).

[23] Tchameni R., Pouclet A., Penay J., Ganwa A., Toteu S., *"Petrography and geochemistry of the Ngaondere Pan–African granitoids in Central North Cameroon: Implication for their sources and geological setting"*, Journal of African Earth Sciences, 44(2006)511-529.

[24] Pearce J.A., *"Trace element characteristics of Lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe, R.S. (esd.) Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks Chichester"*, Johan Wiley and Sons, (1983)525-548.

[25] Aldanmaz E., Pearce J.A., Thirlwall M.F., Mitchell J.G., *"Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey"*, Journal of Volcanology and Geothermal Research,102(2000)67– 95,[DOI:10.1016/S0377-0273(00)00182-7].

[26] Furman T., *"Geochemistry of East African Rift basalts: An Overview",* Journal of African Earth Sciences, 48(2007)147 – 160.[DOI:10.1016/j.jafrearsci.2006.06.009]

[27] He Y., Zhao G., Sun M., Wilde S.A., *"Geochemistry, isotope systematics and petrogenesis of the volcanic rocks in the Zhongtiao mountain: An alternative interpretation for the evolution of the southern margin of the North China craton"*, Lithos, 102(2007)158-178. [DOI:10.1016/j.lithos.2007.09.004]

[28] Saccani E., Principi G., Garfagnoli F., Menna F., *"Corsica ophiolites: Geochemistry and petrogenesis of basaltic and metabasaltic rocks",* Ophiolite, 33(2008)187–207. [DOI: 10.1007/s00710-016-0445-3]

[29] Temel A., Gondogdu M.N., *"Petrological and Geochemical characteristics of Cenozoic High-K calcalkaline volcanism in Konga, Central Anatolia, Turkey"*, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85(1998) 357-377. [DOI:10.1016/S0377-0273(98)00062-6]

[30] Schandl E. S., Gorton M. P., *"Applications of high field strength elements to discriminate tectonic setting in VMS environments",* Economic Geology, 97(2002)629-642. [DOI: 10.12691/jgg-5-1-1]

[31] Pearce J.A., Gorman B.E., Birkett T.C., *"The relationship between major element geochemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks"*, Earth and Planetary Science Letters, 36(1977)121-132. [DOI: 10.1016/0012-821X (77)90193-5]

[32] Muller D., Groves D.I., *“Potassic igneous rocks and associated gold- copper mineralization”,* Lecture Notes in Earth Sciences, No. 56(1997). [DOI:10.1007/978-3-319-23051-1]

[33] Maniar P.D., Picooli P.M., *"Tectonic discrimination of granitoids",* Geological Society of America, 101(1989) 635-643. [DOI:10.1130/0016-7606]

[34] Rogers G., Hawkeswort C. J., *"A geochemical traverse across the north Chilean Andes: evidence for crust generation from mantle wedge",* Earth and planetary Science Letters 91(1984)271-285.[DOI:10.1016/0012-821X(89)90003-4]